

令和 4 年 5 月 19 日現在

機関番号：15301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18K05747

研究課題名(和文) 森林表層土壌における潜在窒素保持能飽和度の広域比較

研究課題名(英文) Regional variation in nitrogen retention potential of surface soil in Japanese forests

研究代表者

廣部 宗 (Hirobe, Muneto)

岡山大学・環境生命科学学域・教授

研究者番号：20363575

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,400,000円

研究成果の概要(和文)：我が国の森林土壌の潜在的な窒素負荷耐性を明らかにするため、気候条件、植生および母材が異なる我が国全域の森林を対象から土壌を採取し、窒素代謝特性、分解性の異なる有機態窒素の量・質、重窒素で標識した無機態窒素を添加した際の有機物への取込割合などを分析した。その結果、微細鉱物粒子と結合している有機物の炭素/窒素比が低い土壌では添加した標識窒素の大部分が有機物に取り込まれず、このような土壌を持つ森林は外部からの窒素負荷に敏感である可能性が示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

現在の地球上では自然状態の2倍以上の速度で化合態窒素が生成され続けており、環境中に放出された化合態窒素は大気降下物として生態系に継続的に供給されている。多量かつ継続的な生態系外部からの窒素供給は、生物の要求量を超えた過剰な状態(窒素飽和)とそれに伴う生態系の衰退を生じさせる可能性があり、陸域生態系の窒素負荷耐性を主体を為す土壌の潜在的な窒素負荷耐性について、測定例が少ない微細鉱物粒子と結合している有機物に注目して我が国森林の地理的な違いも含めた現状把握を試みた。

研究成果の概要(英文)：To investigate nitrogen retention potential of surface soil in Japanese forests, soil samples were collected from forests across Japan with different climatic conditions, vegetation, and parent materials, and analyzed for net nitrogen mineralization, the quantity and quality of organic nitrogen with different degradability, and the percentage of incorporation of the tracer inorganic nitrogen in soil organic matter. The results indicated that most of the tracer inorganic nitrogen was not incorporated into soil organic matter that showed relatively low carbon/nitrogen ratio of organic matter bound to fine mineral particles, suggesting that forests with such soils may be more sensitive to external nitrogen loading.

研究分野：森林生態学

キーワード：森林表層土壌 潜在窒素保持能

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

産業革命以降の科学技術の発達と人類人口の増加により、人為の化合態窒素生成・排出(窒素固定植物の栽培、化石燃料の使用および窒素肥料のための工業的窒素固定)の速度は急激に増大し、現在の地球上では毎年自然状態の2倍以上の速度で化合態窒素が生成され続けている。過剰に変換されたこれらの化合態窒素は環境中に放出され、窒素酸化物等を含んだ大気降下物(窒素降下物)として特に工業地域や大都市周辺の森林生態系に継続的に供給されている。森林生態系における通常の窒素循環は、系外部と系内部の移出入量(外部循環量)に比べ、系内部における植物-土壌間での再循環量(内部循環量)が大きく、卓越した循環経路である。しかし、系外部から窒素降下物が多量かつ継続的に供給されると、森林生態系内において生物が利用しやすい化合態窒素量が生物の要求量を超えた過剰な状態(窒素飽和)に至り、森林生態系の衰退と系外への窒素流出が生じる可能性がある。森林生態系の衰退は、木材や繊維、林産物などの物質生産機能だけでなく、地球環境保全や生物多様性保全といった様々な公益的機能を低下させる。また、森林流出水は、下流の河川・湖沼などの水域生態系、およびそれらを水源・食物源として利用する人類を含む陸上生物の生息に不可欠であり、その水質変化はそれらの生態系に甚大な影響を及ぼす。特に我が国は、化石燃料や化学肥料の使用量が急速に増大している中国・東南アジア諸国の東側に位置し、偏西風に伴う「越境汚染」により窒素降下物の継続的な供給を受ける可能性が非常に高い。そのため、人為起源の窒素降下物が森林生態系に及ぼす影響を把握するとともに、今後の変化を予測して森林生態系を持続的に管理していくことが求められている。

### 2. 研究の目的

窒素降下物が及ぼす影響を把握する上で、生態系外部からの窒素負荷に対する耐性は最も基本的かつ重要な情報である。森林生態系においては土壌が最も大きな窒素蓄積場所であり、生態系内に存在する全窒素の90%以上が保持されている。すなわち、窒素降下物負荷に対する耐性は大まかに土壌の窒素負荷耐性によって決定されるため、森林土壌の窒素負荷耐性の発現機構や決定要因に関するこれまで以上の理解が必要である。

土壌の潜在的な窒素負荷耐性について、鉱物と有機物の相互作用に着目した新たな考え方が近年発表されている。鉱物と有機物の相互作用は、当初土壌の炭素蓄積・保持能力の研究において提唱された。土壌の炭素蓄積・保持能力は、有機物が土壌に供給される速度と供給された有機物が微生物により分解される速度により決定される。その際、土壌に供給された有機物が速やかに分解・無機化されるか、あるいは長期間(数十~千年)分解を免れて保持されるかは、有機物そのものが持つ分解性ではなく、有機物が土壌中の微細鉱物と反応し物理化学的に安定化する作用(鉱物-有機物複合体生成作用)によるところが大きい。そのため、土壌の炭素蓄積・保持能力は土壌中の微細鉱物含有量に大きく依存し、全ての微細鉱物が有機物と結合してしまうとそれ以上の炭素蓄積は生じなくなる(土壌の炭素飽和理論)。Castellano et al. (2012)は土壌の炭素飽和理論を発展させ、土壌の窒素蓄積・保持機構と潜在能力の評価への応用を試みた。すなわち、潜在的な土壌の窒素蓄積・保持能力は土壌の鉱物-有機物複合体生成作用と鉱物-有機物複合体の窒素保持作用の二つにより決定され、全ての微細鉱物が有機物と結合し、それらの有機物の窒素保持能が限界に達するとそれ以上の窒素蓄積が生じなくなるとする考えである(土壌の窒素飽和理論)。

しかしながら、我が国の森林土壌についてこのような観点から窒素負荷耐性を検証した研究例はなく、鉱物-有機物複合体として存在する窒素量についてもほとんど測定例がないため、我が国全域を対象に網羅的な現状把握が必要である。

### 3. 研究の方法

我が国には、北海道の亜寒帯から冷温帯、温帯、および沖縄の亜熱帯まで幅広い気候条件が存在しており、また、同一の気候条件下であっても植生や土壌母材が異なると森林土壌の窒素代謝特性や有機物の堆積様式が著しく異なる。本研究では、我が国の森林土壌の潜在的な窒素負荷耐性について土壌の窒素飽和理論を踏まえて明らかにするため、気候条件、植生および母材が異なる我が国全域の森林を対象として研究を実施した。その際、土壌の潜在的な窒素負荷耐性の指標として、鉱物-有機物複合体の窒素濃度および炭素/窒素比に注目した。

既存の森林乾燥土壌試料を用いた研究

Urakawa et al. (2015)が対象とした森林のうち、北海道から沖縄までの19地点・28林分で採取された鉱質土層表層(0-10cm)の乾燥土壌試料(2mm未満の細土)を用いて、物理分画法により粒径53 $\mu$ m以上の粒子状有機物(POM)と粒径53 $\mu$ m未満の鉱物-有機物複合体(MAOM)として存在する有機物を分画・定量し、それらの全炭素・全窒素濃度を測定した。Urakawa et al. (2015)により報告されている土壌特性値データも使用し、土壌全体の窒素濃度と炭素/窒素比、および物理分画によって得られたPOMあるいはMAOMの窒素濃度と炭素/窒素比と実験室培養による純窒素無機化特性の関係を解析した。

北海道から沖縄までの7林分を対象とした研究

北海道足寄、茨城県小川、京都府上賀茂、岡山県西粟倉、岡山県半田山、宮崎県田野および沖縄県与那の7林分を対象に鉱質土層表層(0-10cm)を採取し、2mm未満の未乾燥細土を用いて実験室培養により見かけの窒素無機化特性を分析するとともに、物理分画法により POM あるいは MAOM として存在する有機物を分画・定量し、それらの全炭素・全窒素濃度を測定した。また、重窒素( $^{15}\text{N}$ )トレーサー(塩化アンモニウムまたは硝酸ナトリウム)を用いた添加培養実験も行い、実際の窒素無機化特性の分析とともに、物理分画法により POM あるいは MAOM として存在する有機物を分画・定量し、添加培養前後の窒素安定同位体比から添加した  $^{15}\text{N}$  トレーサーの POM あるいは MAOM への取込割合についても分析した。

#### 4. 研究成果

本研究では、これまで測定例が少ない鉱物-有機物複合体として存在する窒素に注目して我が国全域を対象に森林表層土壌の窒素負荷耐性の把握を試みた。

##### 既存の森林乾燥土壌試料を用いた研究

北海道から沖縄までの国内19地点・28林分で採取された鉱質土層表層(0-10cm)における POM の窒素濃度の平均値と変動係数は 1.02g-N/kg-soil および 76.6%、MAOM の窒素濃度は 4.43g-N/kg-soil および 51.5%、POM の炭素/窒素比は 18.2 および 28.8%、MAOM の炭素/窒素比は 13.8 および 21.9% であり、大きな空間的変動を示した。POM および MAOM の窒素濃度は平均気温が高い場所で低く、POM および MAOM の炭素/窒素比は平均気温が高い場所で高い傾向がみられた。これらから土壌の窒素負荷耐性のうち、質的な面での鉱物-有機物複合体の窒素保持作用は平均気温が高い場所で高い可能性が示唆されたが、今後量的な面も含めたさらなる検討が必要である。また、純窒素無機化特性の関係を解析した結果、土壌全体の窒素濃度と炭素/窒素比に比べ、物理分画によって得られた指標を使用した場合に解析結果が改善され、POM の窒素濃度が高いと純窒素無機化速度・純硝化速度が高く、POM または MAOM の炭素/窒素比が高いと純窒素無機化速度・純硝化速度が低くなることが分かった。このため、国内の森林表層土壌における純窒素無機化速度・純硝化速度の空間的変動は、POM として存在し無機化資源となりやすい窒素量と鉱物-有機物複合体の窒素負荷耐性指標からある程度説明が可能であることが示唆された。

##### 北海道から沖縄までの7林分を対象とした研究

北海道から沖縄までの7林分で新たに採取した鉱質土層表層(0-10cm)における POM の窒素濃度の平均値と変動係数は 1.61g-N/kg-soil および 100.1%、MAOM の窒素濃度は 3.74g-N/kg-soil および 46.9%、POM の炭素/窒素比は 22.1 および 26.1%、MAOM の炭素/窒素比は 15.2 および 28.2% であり、研究より対象林分は少ないものの同程度の空間的変動が観察された。POM の窒素濃度と純窒素無機化速度・純硝化速度を確認したところ、研究と同様に POM として存在し無機化資源となりやすい窒素量が多いと純窒素無機化速度・純硝化速度が高い傾向がみられた(図1)が、ばらつきも大きかった。

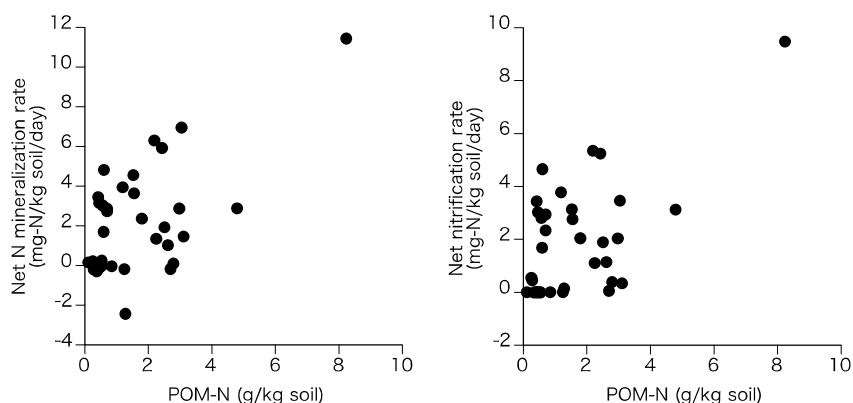


図1. 実験室培養による純窒素無機化速度(左図)および純硝化速度(右図)とPOMとして存在する窒素量の関係。

$^{15}\text{N}$  トレーサー添加培養実験から得られた添加した無機態窒素の土壌有機物への取込割合の平均値は、 $^{15}\text{N}$  塩化アンモニウム添加の場合は POM に 5.9% および MAOM に 28.0%、 $^{15}\text{N}$  硝酸ナトリウム添加の場合は POM に 0.23% および MAOM に 5.3% であった。図2は MAOM の炭素/窒素比と  $^{15}\text{N}$  トレーサー添加培養実験で土壌有機物に取り込まれなかった無機態窒素の割合の関係を示しており、どちらの場合も MAOM の炭素/窒素比が高いほど添加した無機態窒素が土壌有機物に取り込まれにくい傾向がみられた。このため、MAOM の炭素/窒素比が高い土壌を持つ森林では、MAOM の炭素/窒素比が低い土壌を持つ森林に比べ、森林外部から窒素が負荷された際に森林内に保持する割合が低く、窒素負荷に対して敏感である可能性が示唆された。

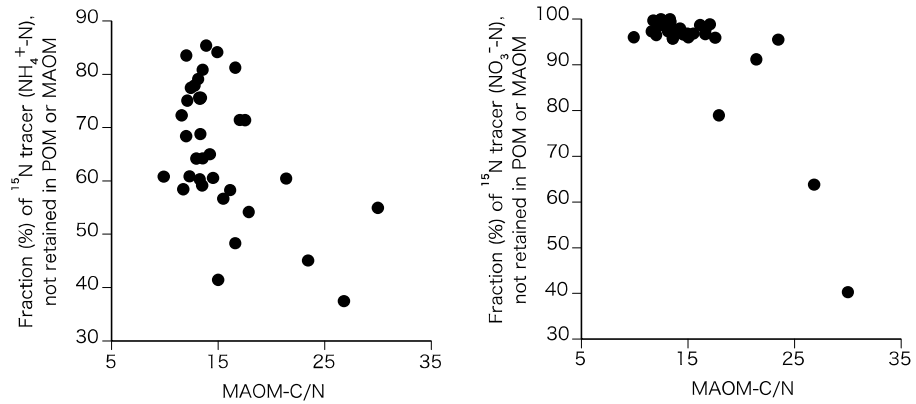


図2.  $^{15}\text{N}$ トレーサー添加培養実験（左図：塩化アンモニウム添加、右図：硝酸ナトリウム添加）でPOMあるいはMAOMに取り込まれなかった $^{15}\text{N}$ の割合とMAOMの炭素／窒素比の関係。

一方、同程度のMAOMの炭素／窒素比を示す土壤でも、添加した無機態窒素の土壤有機物への取込割合は大きなばらつきがあり、今後その他の土壤特性値などを含めた検討とともに、さらに対象森林を増加させる必要がある。

<引用文献>

Castellano MJ.ほか Ecosystems, 15, 175-187, 2012.

Urakawa R.ほか Forest Ecology and Management, 361, 382-396, 2016.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 安達亮太・兵藤不二夫・黒岩 恵・大西雄二・福島慶太郎・木庭啓介・廣部 宗
2. 発表標題 日本の森林土壌における窒素保持能の違い
3. 学会等名 日本生態学会第67回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 廣部 宗・富田悟司・浦川梨恵子・兵藤不二夫・柴田英昭
2. 発表標題 粒径分画を用いた森林表層土壌に含まれる有機態窒素の分解性評価
3. 学会等名 第66回日本生態学会大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
連携研究者	兵藤 不二夫  (Hyodo Fujio)  (70435535)	岡山大学・環境生命科学学域・准教授    (15301)	
連携研究者	浦川 梨恵子  (Urakawa Rieko)  (40776720)	一般財団法人日本環境衛生センターアジア大気汚染研究センター・生態影響研究部・研究員    (83102)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
連携研究者	柴田 英昭  (Shibata Hideaki)  (70281798)	北海道大学・北方生物圏フィールド科学センター・教授    (10101)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関